Einführung in die
Künstliche Intelligenz
SS 17 - Prof. Dr. J. Fürnkranz

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Beispiellösung für das 4. Übungsblatt

Aufgabe 1 Planen, STRIPS

In dieser Beispiellösung wurde eine sehr direkte Modellierung benutzt.

a)

```
pos(p1)      % p1 ist eine Position
pos(p2)      % p2 ist eine Position
pos(p3)      % p3 ist eine Position
monkey(a)    % a ist ein Affe
at(a,p1)     % Affe a ist auf Position p1
hungry(a)    % Affe a ist hungrig
on_floor(a)  % Affe a ist auf dem Boden
banana(b)    % b ist eine Banane
at(b,p2)     % Banane b ist auf Position p2
box(k)       % k ist eine Kiste
at(k,p3)     % Kiste k ist auf Position p3
toy(s1)      % s1 ist ein Spielzeug
toy(s2)      % s2 ist ein Spielzeug
toy(s3)      % s3 ist ein Spielzeug
at(s1,p1)    % Spielzeug s1 ist auf Position p1
at(s2,p2)    % Spielzeug s2 ist auf Position p2
at(s3,p3)    % Spielzeug s3 ist auf Position p3
```

b)

action: go(A,P)
preconditions: monkey(A), at(A,Q), on_floor(A), pos(Q), pos(P)
add: at(A,P)
delete: at(A,Q)

action: push(A,K,P)
preconditions: monkey(A), box(K), at(A,Q), at(K,Q), on_floor(A), pos(Q), pos(P)
add: at(A,P), at(K,P)
delete: at(A,Q), at(K,Q)

action: throw(A,S,P)
preconditions: monkey(A), toy(S), at(A,Q), at(S,Q), on_floor(S), pos(Q), pos(P)
add: at(S,P)
delete: at(S,Q)

action: up(A,K)
preconditions: monkey(A), box(K), at(A,P), at(K,P), on_floor(A), pos(P)
add: on_box(A)
delete: on_floor(A)

action: down(A)
preconditions: monkey(A), on_box(A)
add: on_floor(A)
delete: on_box(A)

action: eat(A,B)
preconditions: monkey(A), banana(B), at(A,P), at(B,P), on_box(A), pos(P)
add: full(A)
delete: hungry(A), at(B,P)

c) Die Formulierung des Ziels lautet: `full(a)`

Der kürzeste Plan hierfür ist:
`go(a,p3)`
`push(a,k,p2)`
`up(a,k)`
`eat(a,b)`

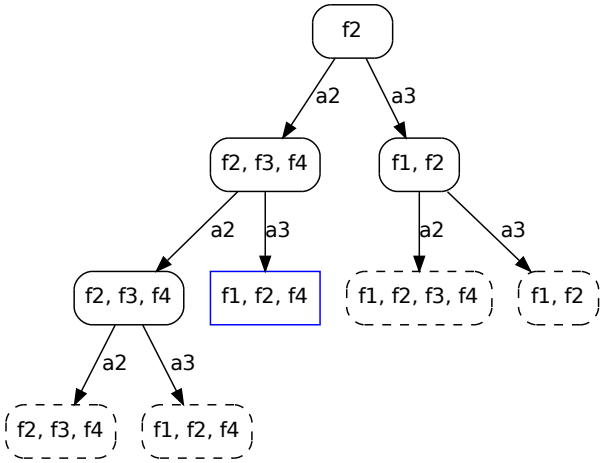
Die folgende Tabelle veranschaulicht die geltenden Fakten vor bzw. nach der Abarbeitung einer Aktion.

Start	`go(a,p3)`	`push(a,k,p2)`	`up(a,k)`	`eat(a,b)`
pos(p1)	pos(p1)	pos(p1)	pos(p1)	pos(p1)
pos(p2)	pos(p2)	pos(p2)	pos(p2)	pos(p2)
pos(p3)	pos(p3)	pos(p3)	pos(p3)	pos(p3)
monkey(a)	monkey(a)	monkey(a)	monkey(a)	monkey(a)
at(a,p1)	at(a,p3)	at(a,p2)	at(a,p2)	at(a,p2)
hungry(a)	hungry(a)	hungry(a)	hungry(a)	full(a)
on_floor(a)	on_floor(a)	on_floor(a)	on_box(a)	on_box(a)
banana(b)	banana(b)	banana(b)	banana(b)	banana(b)
at(b,p2)	at(b,p2)	at(b,p2)	at(b,p2)	-
box(k)	box(k)	box(k)	box(k)	box(k)
at(k,p3)	at(k,p3)	at(k,p2)	at(k,p2)	at(k,p2)
toy(s1)	toy(s1)	toy(s1)	toy(s1)	toy(s1)
toy(s2)	toy(s2)	toy(s2)	toy(s2)	toy(s2)
toy(s3)	toy(s3)	toy(s3)	toy(s3)	toy(s3)
at(s1,p1)	at(s1,p1)	at(s1,p1)	at(s1,p1)	at(s1,p1)
at(s2,p2)	at(s2,p2)	at(s2,p2)	at(s2,p2)	at(s2,p2)
at(s3,p3)	at(s3,p3)	at(s3,p3)	at(s3,p3)	at(s3,p3)

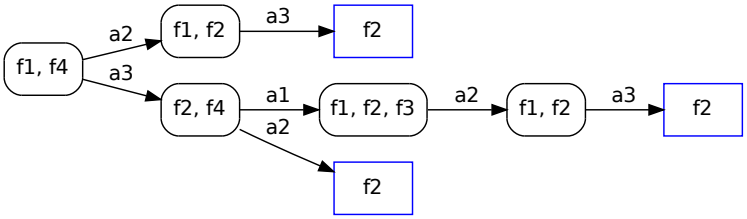
Aufgabe 2 Vorwärts-, Rückwartsplanen

a) Je nach Implementierung der Breitensuche werden die gestrichelt umrandeten Knoten erzeugt oder nicht, d.h. falls der *Goal-Test* unmittelbar nach Expandierung eines Knotens angewendet wird, werden die die gestrichelt umrandeten Knoten nicht erzeugt.

Es wird der Plan (a_2, a_3) gefunden.



b) Es werden folgende Pläne gefunden: (a_3, a_2), (a_3, a_2, a_1, a_3) und (a_2, a_3)



Aufgabe 3 Partial-Order Planning

a) Im Partial-Order Planning Algorithmus finden verschiedene Selektionen, z.B. die Wahl der nächsten open precondition oder die Wahl der nächsten Aktion für die Verfeinerung des Plans, statt, die auf den Vorlesungs-Folien und in der Aufgabenstellung nicht näher erläutert bzw. spezifiziert werden. Hier war es erlaubt, eine mehr oder weniger beliebige gültige Selektion vorzunehmen. Für diese Beispiellösung wurde eine Abarbeitungsfolge benutzt, die ein Konflikt beinhaltet und nicht zu aufwendig ist. In blau werden die Änderungen dargestellt.

Der Anfangszustand sieht folgendermaßen aus:

Actions = {Start, Finish}
Orderings = {Start < Finish}
Causal Links = {}
Open preconditions = {on(a,table), on(b,table), on(c,table), on(d,table)}

Refining - folgende mögliche Aktionen stehen zur Auswahl:
putdown(a), putdown(b), putdown(c), putdown(d), Start
Es wird putdown(a) ausgewählt.

Actions = {Start, Finish, putdown(a)}
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish}
Causal Links = {putdown(a)→on(a,table)→Finish}
Open preconditions = {on(b,table), on(c,table), on(d,table), holding(a)}

Refining - folgende mögliche Aktionen stehen zur Auswahl:
putdown(b), putdown(c), putdown(d), Start, unstack(a,B)
Es wird unstack(a,B) ausgewählt. Hier handelt es sich um einen Fall, in dem Variablen ungebunden vorkommen. Wir wählen den Ansatz, jetzt eine beliebige Substitution vorzunehmen, nämlich $\{b/B\}$ (also unstack(a,b)).

Actions = {Start, Finish, putdown(a), unstack(a,b)}
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish,
Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < Finish,
unstack(a,b) < putdown(a)}
Causal Links = {putdown(a) → on(a,table) → Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a)}
Open preconditions = {on(b,table), on(c,table), on(d,table), handempty, block(a), block(b), on(a,b)}

Refining - folgende mögliche Aktionen stehen zur Auswahl:
putdown(b), putdown(c), putdown(d), Start
Es wird Start ausgewählt.

Actions = {Start, Finish, putdown(a), unstack(a,b) }
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish,
Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < Finish,
unstack(a,b) < putdown(a)}
Causal Links = {putdown(a) → on(table(a) → Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a),
Start → handempty → unstack(a,b)}
Open preconditions = {on(c,table)}

Refining - folgende mögliche Aktionen stehen zur Auswahl:
putdown(c)
Die Wahl ist eindeutig und es wird putdown(c) ausgewählt.

Actions = {Start, Finish, putdown(a), unstack(a,b), putdown(c) }
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish,
Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < Finish,
unstack(a,b) < putdown(a),
Start < putdown(c), putdown(c) < Finish}
Causal Links = {putdown(a)→on(table(a)→Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a),
Start → handempty → unstack(a,b),
putdown(c) → on(c,table) → Finish}
Open preconditions = {holding(c)}

Refining - folgende mögliche Aktionen stehen zur Auswahl:
unstack(c,B)
Die Wahl ist eindeutig und es wird hier unstack(c,B) mit der Substitution $\{d/B\}$, also unstack(c,d) ausgewählt.

Es wird nun in zwei Schritten das Refining dargestellt, da hier ein Konflikt auftritt. Im folgenden ist der Zustand vor der Konflikt-Auflösung dargestellt.

Actions = {Start, Finish, putdown(a), unstack(a,b), putdown(c), unstack(c,d) }
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish,
Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < Finish,
unstack(a,b) < putdown(a),
Start < putdown(c), putdown(c) < Finish,
Start < unstack(c,d), unstack(c,d) < Finish}
Causal Links = {putdown(a) → on(table(a) → Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a),
Start → handempty → unstack(a,b),
putdown(c) → on(c,table) → Finish,
unstack(c,d) → holding(c) → putdown(c)}
Open preconditions = {handempty, block(c), block(d), on(c,d)}

Die Aktion unstack(c,d) verursacht ein Konflikt mit dem kausalen Link Start → handempty → unstack(a,b), da es ¬handempty als Effekt hat und zwischen Start und unstack(a,b) eintreten kann. Dieser Konflikt kann nur dadurch gelöst werden, in dem das Ordering unstack(a,b) < unstack(c,d) eingefügt wird. Es gilt nun also:

Actions = {Start, Finish,putdown(a), unstack(a,b), putdown(c), unstack(c,d) }
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish,
Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < Finish,
unstack(a,b) < putdown(a),
Start < putdown(c), putdown(c) < Finish,
Start < unstack(c,d), unstack(c,d) < Finish,
unstack(a,b) < unstack(c,d)}
Causal Links = {putdown(a) → on(table(a) → Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a),
Start → handempty → unstack(a,b),
putdown(c) → on(c,table) → Finish,
unstack(c,d) → holding(c) → putdown(c)}
Open preconditions = {handempty, block(c), block(d), on(c,d)}

Refining - folgende mögliche Aktionen stehen zur Auswahl (*):
Start, putdown(X)
Es wird Start gewählt.

Actions = {Start, Finish, putdown(a), unstack(a,b), putdown(c), unstack(c,d) }
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish,
Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < Finish,
unstack(a,b) < putdown(a),
Start < putdown(c), putdown(c) < Finish,
Start < unstack(c,d), unstack(c,d) < Finish,
unstack(a,b) < unstack(c,d)}
Causal Links = {putdown(a) → on(table(a) → Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a),
Start → handempty → unstack(a,b),
putdown(c) → on(c,table) → Finish,
unstack(c,d) → holding(c) → putdown(c),
Start → handempty → unstack(c,d),
Start → block(c) → unstack(c,d),
Start → block(d) → unstack(c,d),
Start → on(c,d) → unstack(c,d)}
Open preconditions = {}

Die Aktion unstack(a,b) verursacht ein Konflikt mit dem kausalen Link Start → handempty → unstack(c,d), da es ¬handempty als Effekt hat und zwischen Start und unstack(c,d) eintreten kann. Dieser Konflikt kann nur dadurch gelöst werden, in dem das Ordering unstack(c,d) < unstack(a,b) eingefügt wird. Das allerdings wäre ein Widerspruch zu dem bereits eingefügten Ordering unstack(a,b) < unstack(c,d). Damit müssen wir ein Backtracking zu (*) machen und eine andere Aktion, nämlich putdown(a), auswählen:

Actions = {Start, Finish, putdown(a), unstack(a,b), putdown(c), unstack(c,d) }
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish,
Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < Finish,
unstack(a,b) < putdown(a),
Start < putdown(c), putdown(c) < Finish,
Start < unstack(c,d), unstack(c,d) < Finish,
unstack(a,b) < unstack(c,d)}
putdown(a) < unstack(c,d)}
Causal Links = {putdown(a) → on(table(a) → Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a),
Start → handempty → unstack(a,b),
putdown(c) → on(c,table) → Finish,
unstack(c,d) → holding(c) → putdown(c),
putdown(a) → handempty → unstack(c,d)}
Open preconditions = {block(c), block(d), on(c,d)}

Refining - folgende mögliche Aktionen stehen zur Auswahl:
Start
Es wird Start gewählt. Das geschieht nun drei Mal, je für block(c), block(d) und on(c,d):

Actions = {Start, Finish, putdown(a), unstack(a,b), putdown(c), unstack(c,d) }
Orderings = {Start < Finish,
Start < putdown(a), putdown(a) < Finish,
Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < Finish,
unstack(a,b) < putdown(a),
Start < putdown(c), putdown(c) < Finish,
Start < unstack(c,d), unstack(c,d) < Finish,
unstack(a,b) < unstack(c,d)}
putdown(a) < unstack(c,d)}
Causal Links = {putdown(a) → on(table(a) → Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a),
Start → handempty → unstack(a,b),
putdown(c) → on(c,table) → Finish,
unstack(c,d) → holding(c) → putdown(c),
putdown(a) → handempty → unstack(c,d),
Start → block(c) → unstack(c,d),
Start → block(d) → unstack(c,d),
Start → on(c,d) → unstack(c,d)}
Open preconditions = {}

Da nun keine Preconditions mehr offen sind, sind wir fertig.
Unten sieht man eine Version der Lösung, in der redundante Ordering Bedingungen entfernt wurden.

Actions = {Start, Finish, putdown(a), unstack(a,b), putdown(c), unstack(c,d) }
Orderings = {Start < unstack(a,b), unstack(a,b) < putdown(a),
unstack(c,d) < putdown(c), putdown(c) < Finish,
unstack(a,b) < unstack(c,d), putdown(a) < unstack(c,d)}
Causal Links = {putdown(a) → on(table(a) → Finish,
unstack(a,b) → holding(a) → putdown(a),
Start → handempty → unstack(a,b),
putdown(c) → on(c,table) → Finish,
unstack(c,d) → holding(c) → putdown(c),
putdown(a) → handempty → unstack(c,d),
Start → block(c) → unstack(c,d),
Start → block(d) → unstack(c,d),
Start → on(c,d) → unstack(c,d)}
Open preconditions = {}

b) Der oben gefundene Plan ist linear, und erlaubt daher nur eine Abarbeitung.